第1章 アナログ・プログラマブル・デバイスを活用しよう

――アナログ回路の共通化や高集積化を実現するために

相田泰志

ここでは，アナログLSIがプログラマブルになることで，回路設計がどのように変わるのか，どのようなメリットがあるのかについて考える．また，現在流通している代表的なアナログ・プログラマブル・デバイス製品の概要を紹介する．FPGA（field programmable gate array）のアナログ版のようなLSIにかぎらず，プログラマブルな機能を持つミックスト・シグナルLSIを取り上げる．（編集部）

近年のFPGA/CPLDの普及は目を見張るものがあります．汎用ロジックICなどによる回路の単なる置き換えとしてだけではなく，高い性能が求められるアプリケーションにおいても十分に満足できるものになっています．また，論理ゲート・ベースの回路図ではとても設計できないような大規模な回路であっても，ハードウェア記述言語（HDL：hardware description language）で比較的簡単に記述できるようになりました．少量多品種の機器の設計では「FPGAがなければ実現できない」と言われるようにさえなっています．少量多品種生産に対応できるだけでなく，開発期間の短縮，省スペース化，標準的なLSIの製造中止や入手性の悪さなど，いろいろな理由により，FPGA/CPLDはもはや必要不可欠なデバイスになっていると言っても過言ではありません．かつてデメリットとされていた価格についても，徐々に低コスト化が進んでいます．

FPGA/CPLDをみるとわかるように，プログラマブルなLSIは，設計者にとって，とても魅力的なデバイスになっています．

FPGAからアナログ・プログラマブルへ

ひと昔前まで，機能はハードウェアのみで実現したものでした．真空管の時代はもちろん，ディジタル回路が普及してからでも，標準ロジックICの組み合わせによって機器のすべての機能を構築していた時期がありました．そのため，設計時点ですべての仕様が決定していなければならず，もちろん機能アップや改良などといったことは，事実上不可能でした．

マイコンが普及すると，ソフトウェア全盛の時代を迎えました．機器にマイコンを搭載し，できるかぎりソフトウェアで機能を実現するようになったのです．こうすることで，機能の追加や変更が容易になりました．しかし，高速な処理が必要な分野や低消費電力が要求される分野などについては，ハードウェアで実現する部分が存在していました．FPU（floating-point processing unit）やグラフィックス処理，マルチメディア処理などは，専用回路で実現する必要があります．このような場面では，ASIC（application specific integrated circuit）やASSP（application specific standard product）が使われていました．

最近では，FPGA/CPLDの高性能化や低価格化が進み，ASICやASSPの置き換えとしても使われるようになっています．ハード・マクロまたはソフト・マクロのCPUコアを実装することで，システムLSIとしても活用されています．ハードウェアの設計概念そのものまで変化させたといえるでしょう．

このような変化の中で，最後まで残されている分野があります．それはアナログ回路です．

アナログ回路におけるプログラマブル・デバイスの必要性は，かなり以前より言われていました．ただし，アナログ回路はディジタル回路のような回路の共通化がなかなか図れません．抵抗やコンデンサ，コイルなどの受動部品も数多く用いられ，電圧範囲，周波数，使用方法などに合わ

せた適切な定数で使用しなければなりません．精度に合わせた部品選定も求められます．このため，アナログ専用ICでないと所望の機能や性能を得られませんが，それが結果的に便利で使いやすいものになっている感じもあります．また，アナログ系の設計者は，ディジタル系の設計者と比べてパソコンやソフトウェアになじみが少なく，CADを使って設計したがらないということもあるのかもしれません．

アナログ系のプログラマブル・デバイスの開発には，いくつかのメーカが取り組んでおり，機器開発においても，徐々にではありますが使われ始めています．

本稿ではこうしたアナログ・プログラマブル・デバイスの概要について解説します．また，後半ではアナログ処理を主体とするソフトウェア・プログラマブルなデバイスについても紹介します．

アナログ・プログラマブル・デバイスのメリット

それでは，実際にアナログ回路がFPGAのようにプログラマブルになると，どのようなメリットや用途があるのでしょうか．簡単な例を挙げてみたいと思います．

● 省スペース化と共通化

アナログ回路がいちばん使用されていると思われるのは，信号入力のインターフェースです．アナログ信号はA-Dコンバータによってディジタル信号に変換されるのですが，その前段には，かならずOPアンプなどによる回路が用いられます．アナログの信号レベルをA-Dコンバータの入力レベルに最適に調整したり，ノイズなどを除去するためです．

例えば，各種センサを接続できるデータ収集装置のような機器を考えます．熱電対，RTD（測温抵抗体），サーミスタなど，各種のセンサをA-Dコンバータに接続するためには，**図1**のような回路が必要になります．また，熱電対にしても，種類や測定範囲によって，ゲイン（利得）やゼロ点，スパンなどを設定しなければなりません．逆に広い範囲の信号を高分解能のA-Dコンバータを介して入力すれば，ソフトウェアで簡単に実現できそうですが，熱電対のような数μVの電圧から，一般的なセンサの1～5V（DC）までを取得することを考えると，ものすごく高い分解能のA-Dコンバータが必要になってしまいます．

このような応用にアナログ・プログラマブル・デバイスを使用すれば，自由に設計を変更することができます．また，実際に回路が使われだしたあとでセンサが生産中止になったり，メーカが変わって回路を変更しなければならないといったときなども，柔軟に対応することができます．

● 経年変化対応と自己診断

アナログ回路では，音声や温度，流量など，いろいろな物理量を扱います．

回路を構成するアナログLSIそのもの変動は少ないのですが，センサや可変抵抗（ボリューム）などの経年変化で特性が変わってしまう部品もあります．部品の特性が変わらなくても，システムが置かれる環境の変化の影響を受ける場合も考えられます．このような部品を使っていると，定

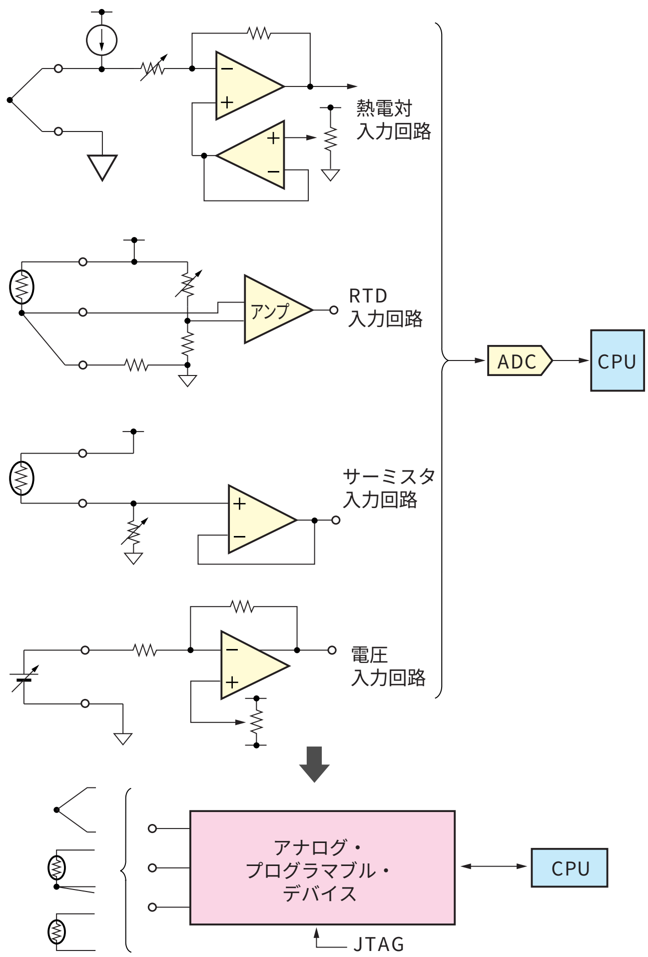


図1　ユニバーサル入力

熱電対，RTD（測温抵抗体），サーミスタなど，各種のセンサをA-Dコンバータ（ADC）に接続するためには，入力前処理回路が必要になる．さまざまなセンサに対応するシステムを設計しようとすれば，すべての前処理回路をあらかじめ搭載しておかなければならない．このような用途に，アナログ・プログラマブル・デバイスを使用できれば，基板の共通化や省スペース化を図ることができる．

1

期的に校正しなくてはならなくなります．

ハードウェアを調整しなくても，ソフトウェアによる演算で校正できる場合もあります．しかし，ゼロ点やスパンなどが変わってしまったり，温度変化や環境などにより測定レンジ外に出てしまった場合には，ハードウェアを校正するしかありません．また，ノイズが増えて測定誤差が大きくなったりすると，ノイズ除去用のフィルタなどを設けて影響をなくす，といった対策が必要になる場合も考えられます．

このような場面でアナログ・プログラマブル・デバイスを使用できれば，ソフトウェアを変更するかのごとくハードウェアの校正が可能になります．システム起動時などにしか必要のない自己診断機能も，アナログ・プログラマブル・デバイスの内部回路を変更することで実現できるかもしれません．

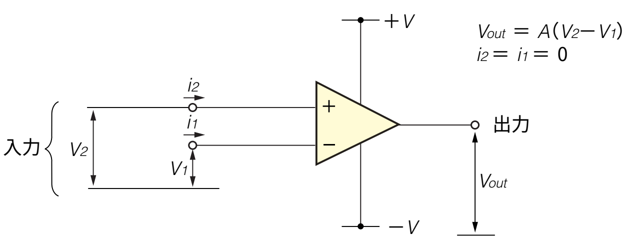


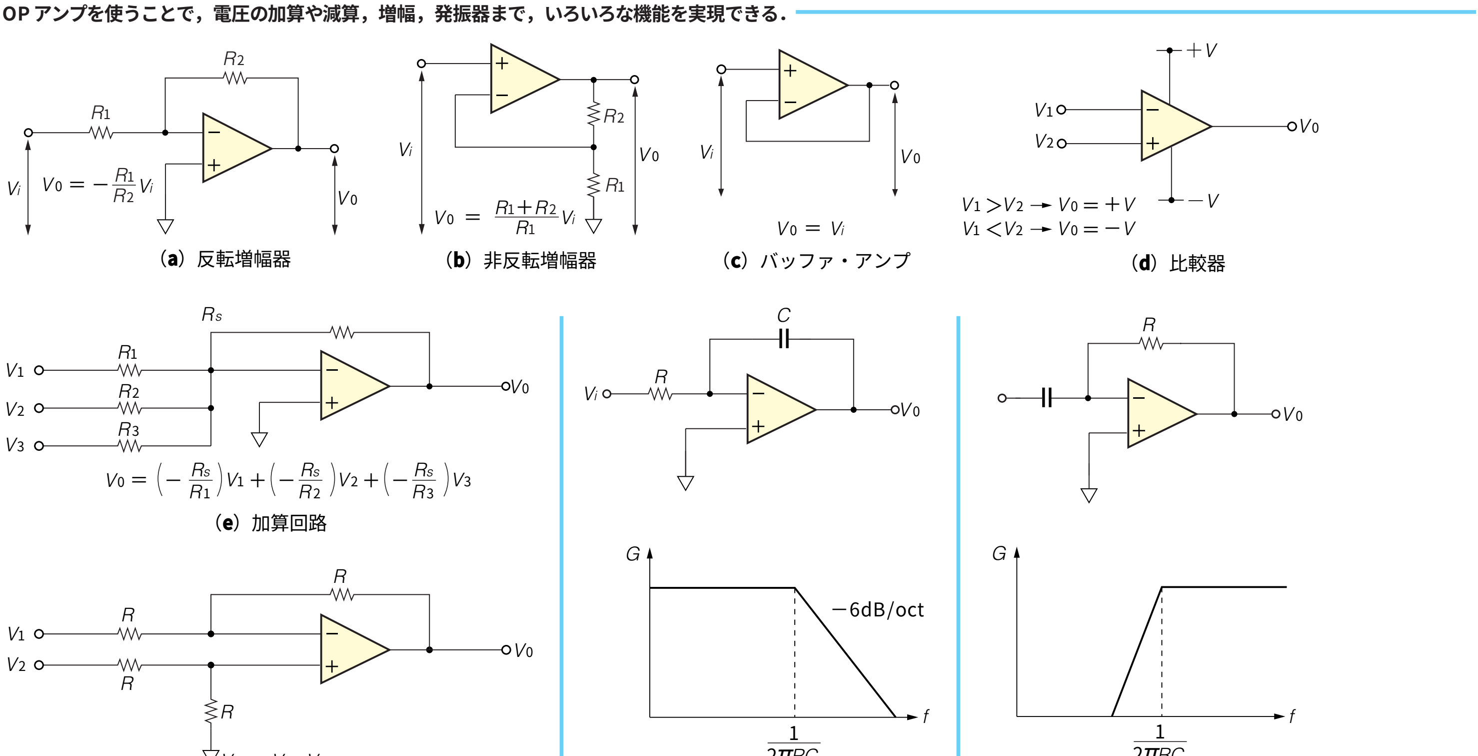
図2　OPアンプ
二つの入力と一つの出力を持ち，二つの入力端子の電圧差によって出力が決まる．

● バージョンアップ

例えば，ビル管理や工場管理などの設備機器などでは，異常があれば，リモート（遠隔操作）でパラメータを変更，診断，対策するしくみが一般的になりつつあります．家電やパソコン，携帯電話などのディジタル機器などでもネットワークを介してバージョンアップできるのが珍しくなくなりました．

ソフトウェアにかぎらず，ハードウェアのバージョンアップも，FPGAのコンフィグレーション・データを書き換えるといった方法で実現できるようになりました．例えば，音楽のCODECの機能を変更するような使いかたが考えられます．アナログ回路がプログラマブルとなれば，動作するCODEC機能に合わせて，OPアンプやフィルタ定数を変えたり，イコライザをアナログ的に構成したりと，いろいろな応用が考えられます．

図3　OPアンプ応用回路
OPアンプを使うことで，電圧の加算や減算，増幅，発振器まで，いろいろな機能を実現できる．



（a）反転増幅器　（b）非反転増幅器　（c）バッファ・アンプ　（d）比較器
（e）加算回路　（f）減算回路　（g）積分回路（ローパス・フィルタ）　（h）微分回路（ハイパス・フィルタ）

アナログ・プログラマブル・デバイスの要素技術

ディジタルLSIのFPGAやCPLDは，ルックアップ・テーブルやANDやORなどの論理ゲートが基本部品になっています．では，アナログ・プログラマブル・デバイスを構成する基本部品はいったい何でしょうか？

● アナログ回路の基本はOPアンプ

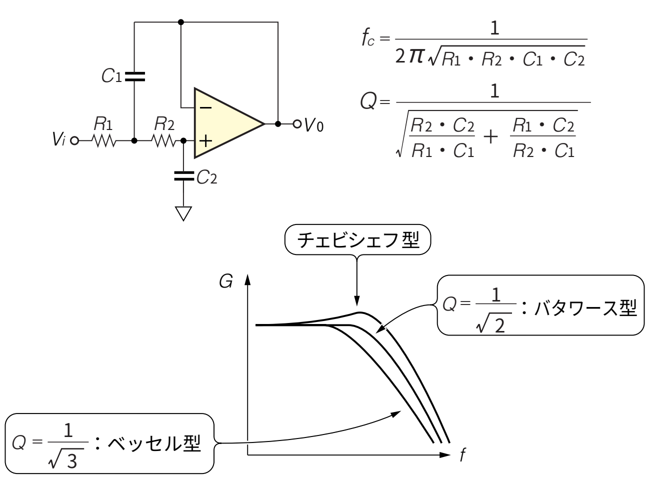
いちばんの基本はOPアンプ（演算増幅器）でしょう．OPアンプは，二つの入力と一つの出力を持ち，二つの入力端子の電圧差によって出力が決まります（**図2**）．この入出力に抵抗やコンデンサを接続することにより，**図3**のように，電圧の加算や減算，増幅，発振器まで，いろいろな機能を実現できます．もちろん，速度が速いものや，電圧範囲が広いもの，誤差の少ないものなど，いろいろなタイプがあります．これはディジタルICで，速度やファンアウトなどを考えるのと同じようなものです．

図3を見ると，OPアンプを並べて，FPGAのようにスイッチを付ければ，プログラマブル・デバイスが簡単にできそうに思えます．実際，各社から発売されているアナログ・プログラマブル・デバイスは，OPアンプを基本にして構成されています．OPアンプはもともとシリコン半導体で，トランジスタやFETの集まりで作られています．したがって，それを集積したLSIを作ることに何の問題もないはずです．それよりも，外付けの部品（抵抗やコンデンサ，コイルなど）をどのようにデバイス上に実装するかが問題となってきます．そして，部品そのものは，‘0’と‘1’ではなく，抵抗値やコンデンサ容量によって特性を変える必要があります．並列や直列に部品を並べても，設定できる値や実装できるスペースに限りがあるため，簡単に実現することができません．

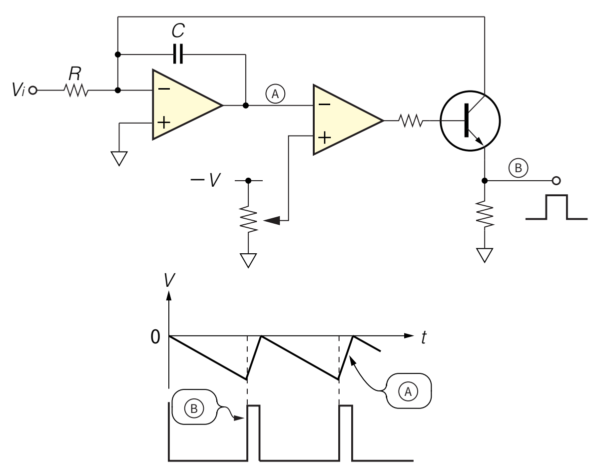
そこで，役に立つ技術がスイッチト・キャパシタ技術です．

● スイッチト・キャパシタ技術

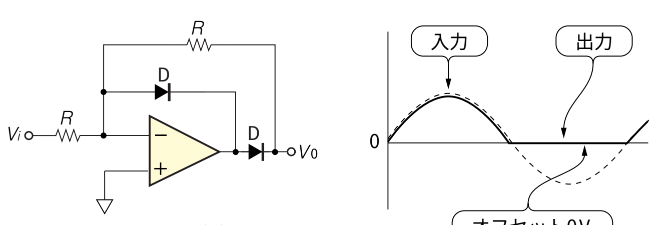
スイッチト・キャパシタ技術の概要を**図4**に示します．コンデンサをスイッチで切り替えることにより，電荷を伝えていきます．これを高速に行うと，図中の式のように，



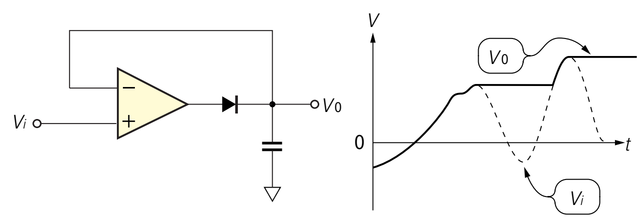
（i）VCVS型ローパス・フィルタ



（k）V/F変換器（発振器）



（j）理想ダイオード回路



（l）ピーク検出器

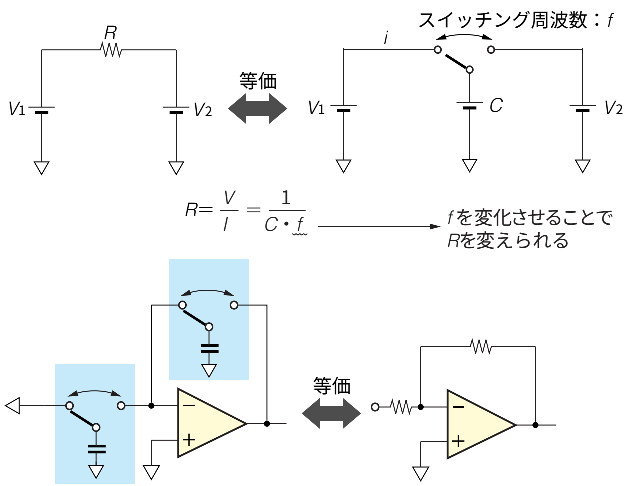


図4　スイッチト・キャパシタ技術

コンデンサをスイッチで切り替えることにより，電荷を伝えていく．これを高速に行うと，抵抗と同じ役割を示す．

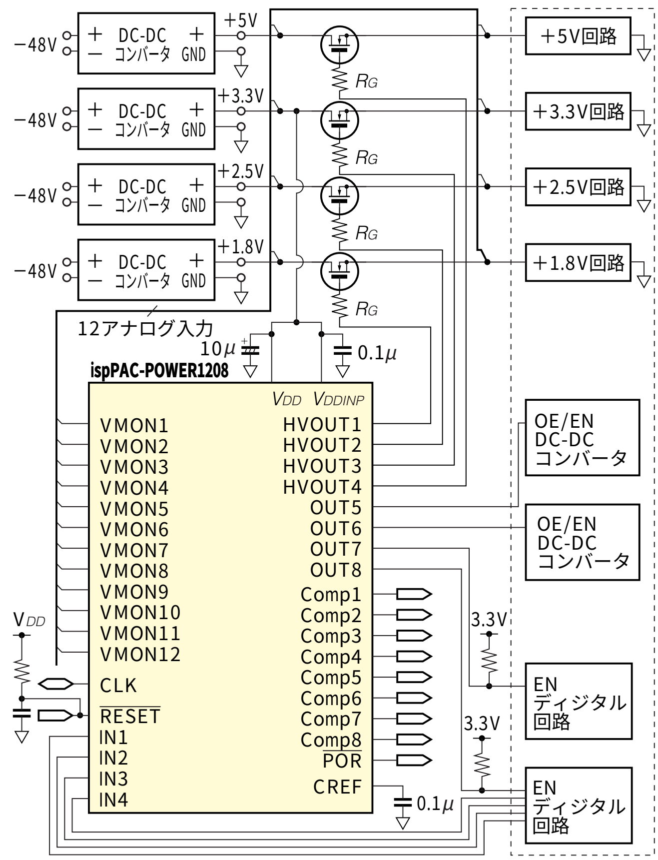


図5　ispPAC Power Manegerによる回路例

プログラマブルなアナログ回路部とディジタル回路部により，電源の立ち上げシーケンスや，異常時の動作などを細かく設定できる．

抵抗と同じ役割を示すことがわかっています．また，これは，パルスの周波数やデューティ比を変化させることで，あたかも抵抗値を変えたかのような効果を得ることができます．もちろんクロック周波数やデューティ比はディジタル回路やソフトウェアで簡単に作ることができます．

ただし，スイッチト・キャパシタは，クロックでスイッチングしているため，クロック周波数より高い周波数の信号で使用することができません．実用的には，クロックの1/10ぐらいの周波数が妥当かと思われます．

このような基本技術をベースとして，アナログのプログラマブル・デバイスが製品化されています．

プログラマブル・アナログ・デバイス製品

FPGA/CPLDのアナログ版のようなLSIが，いくつか出荷されています．複数の基本アナログ回路ブロックを集積し，プログラマブルとすることで，任意のアナログ回路を構成することができるように考えられています．

● ispPAC

FPGA/CPLDベンダでもある米国Lattice Semiconductor社は，アナログのプログラマブル・デバイス「ispPAC」を

表1　ispPACの概要

シリーズ名	ispPAC Power Manager	ispPAC			
型　名	ispPAC-POWER1208 /ispPAC-POWER604	ispPAC10	ispPAC20	ispPAC30	ispPAC80/ispPAC81
用　途	電源回路のシーケンスとモニタリング	シグナル・コンディショナ	ループおよびモニタリングの制御	アナログ・フロントエンド	5次アクティブ・フィルタ
パッケージ	44ピンTQFP	28ピンSOC, 28ピンPOIP	44ピンPLCC, 44ピンTQFP	24ピンSOIC, 24ピンPDIP	24ピンSOIC, 16ピンPDIP
電源電圧	5V（FETドライバ　12V）	5V（DC）	5V（DC）	5V（DC）	5V（DC）
アナログ信号入力	—	1～4V（DC）	1～4V（DC）	1～4V（DC）	1～4V（DC）

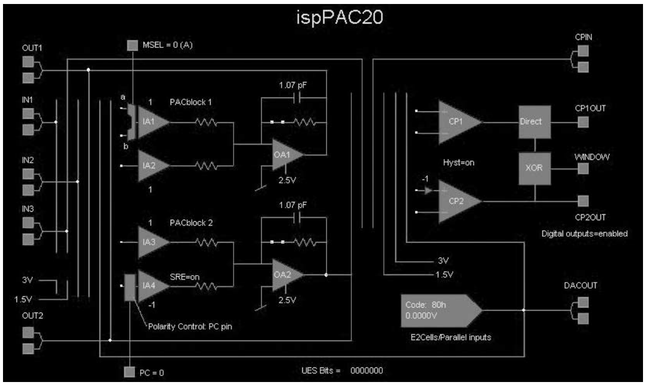


図6　ispPAC20の内部回路
開発ツール「PAC-Designer」の画面．ispPAC10/20/30は，汎用を目ざした製品群である．

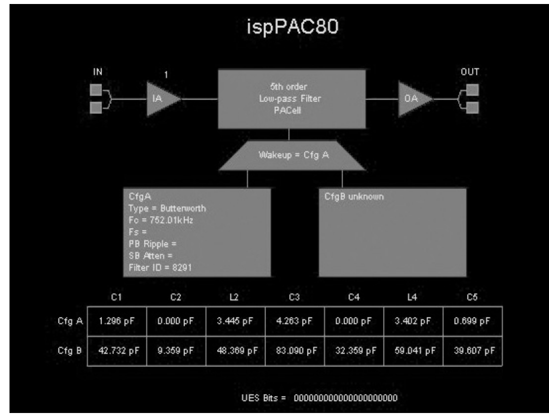


図7　ispPAC80の内部回路
開発ツール「PAC-Designer」の画面．ispPAC80は，フィルタを構成するための製品である．

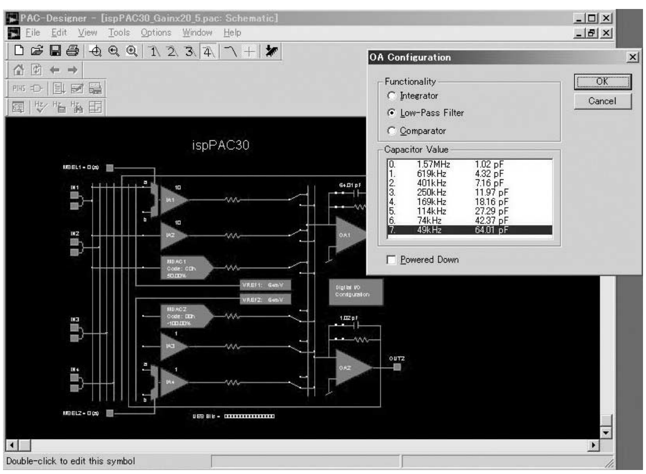


図8　ispPACの開発ツール「PAC-Designer」の画面
マウスなどでブロック間を接続し，その部品ごとのプロパティの設定を行うことによって所望の機能を実現する．

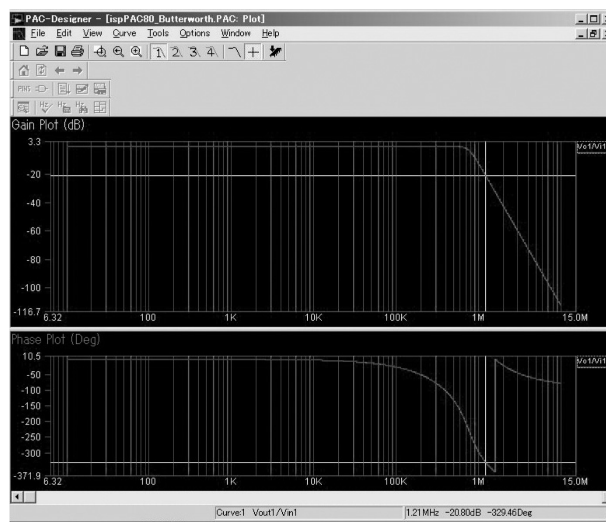


図9　PAC-Designerによる周波数解析
周波数解析などの機能を持ち，設計した回路の検証を行うことができる．

発売しています．**表1**に示すように，用途によって五つのシリーズが用意されています．

ispPAC Power Managerは，電源回路を構成するためのファミリです．電源電圧検出回路，スイッチ回路，警報などの機能を持ちます．プログラマブルなアナログ回路部とディジタル回路部により，電源の立ち上げシーケンスや異常時の動作などを細かく設定できます(**図5**)．

ispPAC10/20/30は，汎用を目ざした製品群です．OPアンプを中心に置き，アナログの各種機能を実現できます(**図6**)．OPアンプが用意され，その間をつないでいきます．また，シリアルで制御できるD-Aコンバータが用意されており，パソコンと連携をとって動作させることも可能です．

ispPAC80は，フィルタを構成するための製品です．アナログ・フィルタを自由に構成できるような機能を持っています(**図7**)．専用のツールを使って，周波数やゲイン，フィルタの型などを定義すると，自動的に計算し，データを設定してくれます．

ispPACは，「PAC-Designer」と呼ばれる開発ツールによって機能を構成します．構成された情報は，デバイス内のメモリにダウンロードされて動作します．各デバイスは，**図8**のような画面を見ながらマウスなどでブロック間を接続し，その部品ごとのプロパティの設定を行うことによって所望の機能を実現します．また，開発ツールは周波数解析などの機能を持ち，設計した回路の検証を行うこともで

表2
FPAAの概要

型名	AN221E02	AN120/220E04	AN121/221E0	2SAA10E40
用途	小規模	汎用	A-Dコンバータ出力	汎用(多ピン)
CABの個数	2個	4個	4個	20個
入力	2	4	4	13
出力	2	2	2	13
機能モジュール	比較，増幅，加減算，フィルタ(ローパス，ハイパス，バントパス，バンドエリミネーション)，整流，微積分，正弦波発振，サンプル&ホールド，リミッタ，電圧源			
アナログ動作クロック周波数(最大値)	4MHz	4MHz	4MHz	1MHz
電源電圧	5V(DC)	5V(DC)	5V(DC)	5V(DC)
アナログ・ダイナミック・レンジ	±3V	±3V	±3V	±3V

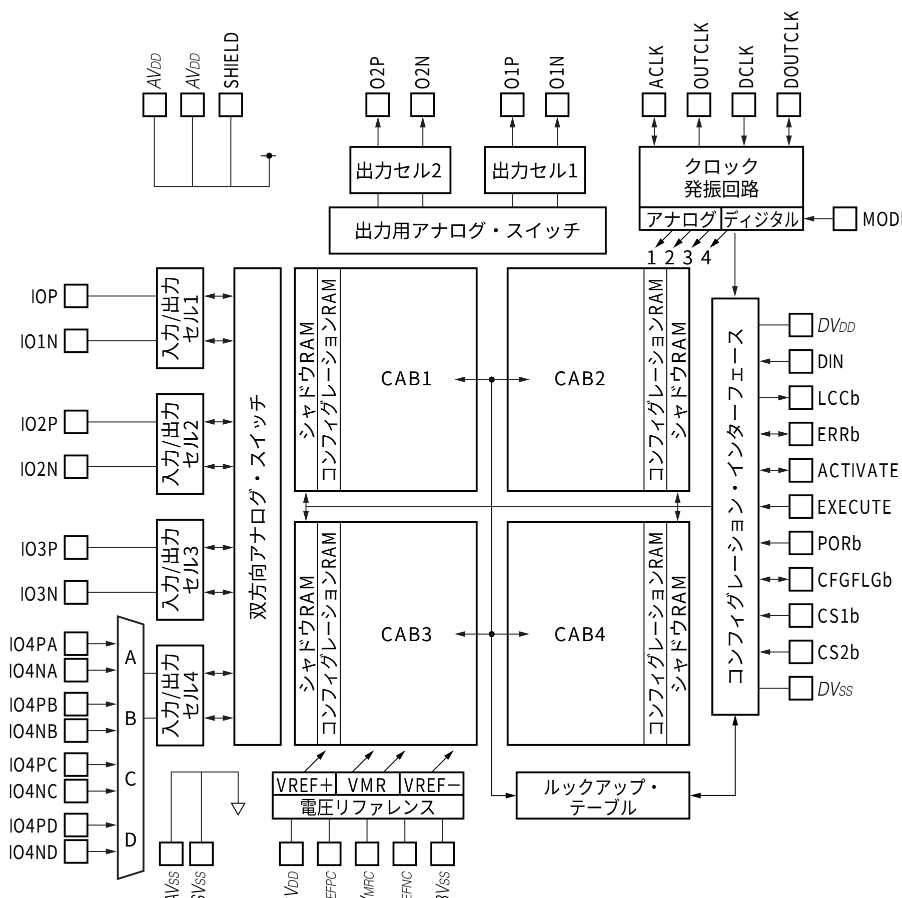


図10
FPAAのブロック図
CABと呼ばれるアナログ機能モジュールを中心に構成されている．

きます(**図9**)．

● FPAA

米国Anadigm社は，フィールド・プログラマブル・アナログ・アレイ「FPAA」を発売しています[注1]．**表2**にシリーズの一覧を示します．

FPAAは，CAB(Configurable Analog Block)と呼ばれるアナログ機能モジュールを中心に構成されています．**図10**にFPAAのブロック図を，**図11**にCABの構成を示します．CABは，スイッチト・キャパシタ技術を利用したブロックです．コンデンサとOPアンプの間に接続されたスイッチのON/OFFを行うことで，さまざまなアナログ機能を実現します．

注1：日本の代理店はオムロン．本稿執筆中にオムロンのWebサイトに「FPAA WEBはアナダイム社の要請を受け，一時休止しています」との案内が出された．ただし，Anadigm社のホームページはアクセス可能である．詳しい事情は発表されていないためわからないが，FPAAを取り巻く環境に何らかの変化が起こる可能性がある．FPAAの採用を検討する際には，今後の動向に注意する必要があるだろう．

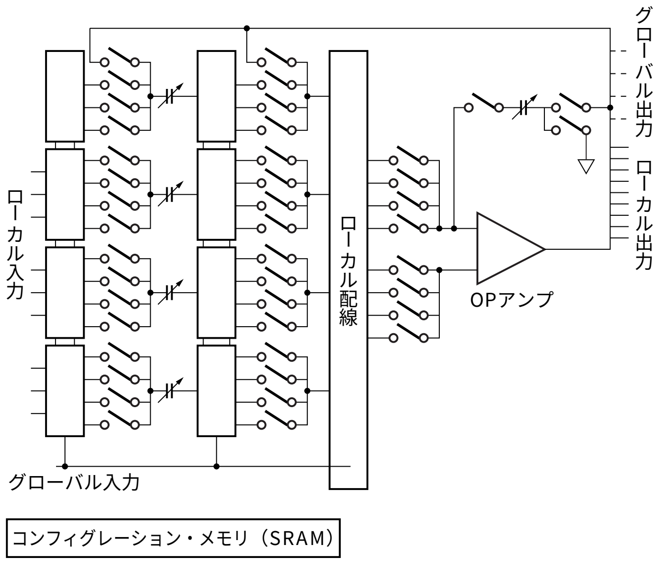


図11　CAB（Configurable Analog Block）の構成
スイッチト・キャパシタ技術を利用したブロックである．コンデンサとOPアンプの間に接続されたスイッチのON/OFFを行うことで，さまざまなアナログ機能を実現できる．

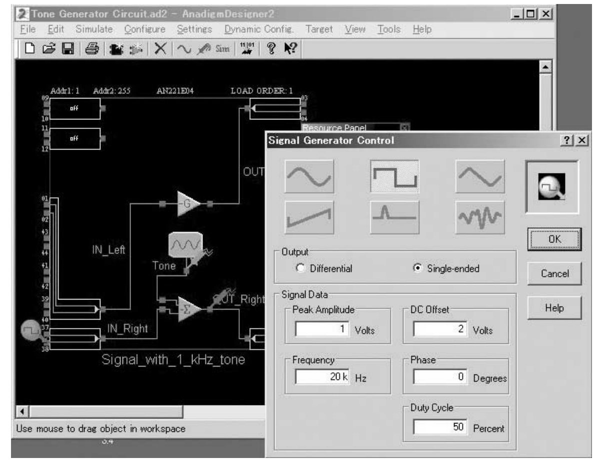


図12　FPAAの開発ツール「AnadigmDesigner2」の画面
機能を選択し，パラメータを設定することで，回路を構成する．

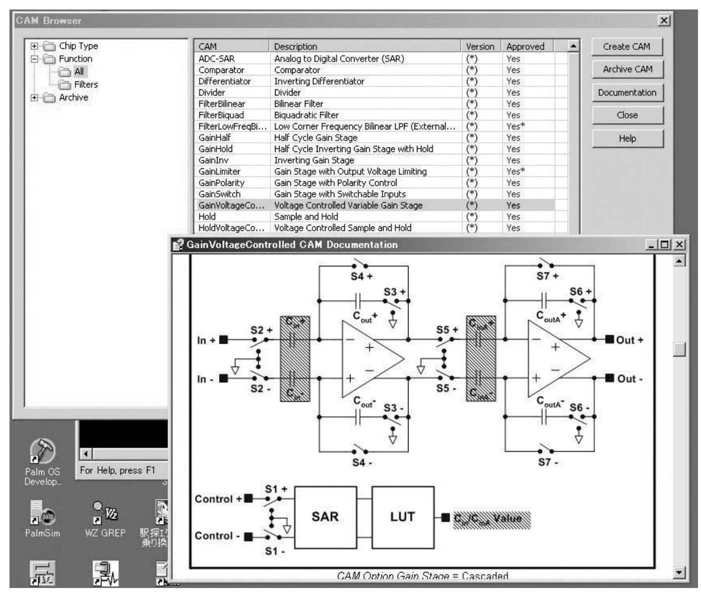


図13
あらかじめ用意されている機能
さまざまな特性のアンプやフィルタ，発振器，リミッタなどがあらかじめ用意されている．

FPAAではRAMベースであるため，FPGAと同じようにパワーON時に外付けメモリからデータが転送され，動作を開始します．また，LSIの動作中にオンラインでパラメータや回路構成を変更していくことも可能です（いわゆるダイナミック・リコンフィギャラブル機能）．

FPAAでは，「AnadigmDesigner2」という開発ツールを使って回路設計を行います（**図12**）．実現可能な機能の多くは，IPコアのようにモジュールとして提供されています（**図13**）．開発ツールにおいて，アンプやフィルタ，発振器，リミッタなどの機能を選択し，パラメータを設定することで，回路を構成することができます．

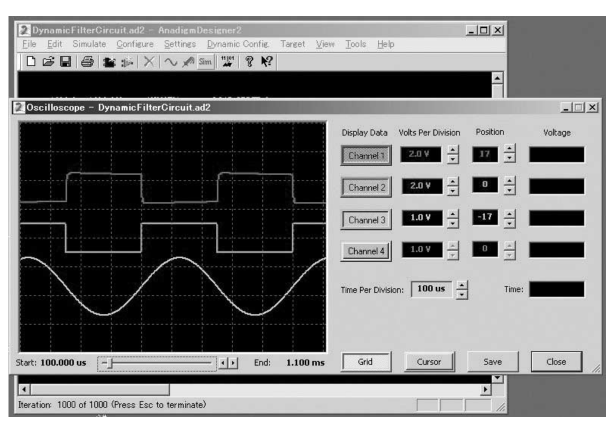


図14　AnadigmDesigner2のシミュレーション機能
LSI内部の各所に信号発生器や計測器のプローブを接続するようなスタイルでシミュレーションを行うことができる．

1

また，テスト用のシミュレーション機能を備えています．パソコン上で，LSI内部の各所に信号発生器や計測器のプローブを接続するようなスタイルでシミュレーションを行うこともできます．この機能により，実際にLSIを動作させる前に，設計した回路が正しく動作するかどうかを検証することができます(**図14**)．

図15にFPAAを使用した応用回路として温度制御用PIDコントローラの例を示します．センサの温度と，設定値の差によりPID演算を行い，制御信号を出力するというものです．FPAAは，スイッチト・キャパシタ技術を利用しているため，スイッチングの周波数によって使用できる周波数に制限がありますが，デバイスの高速化もあり，音声帯域ぐらいの使用ではなんの問題もありません．**図16**にAnadigmDesigner2による設計画面を示します．

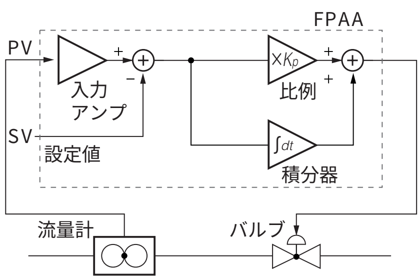


図15　温度制御用PIDコントローラ
センサの温度と設定値の差によりPID演算を行い，制御信号を出力する．

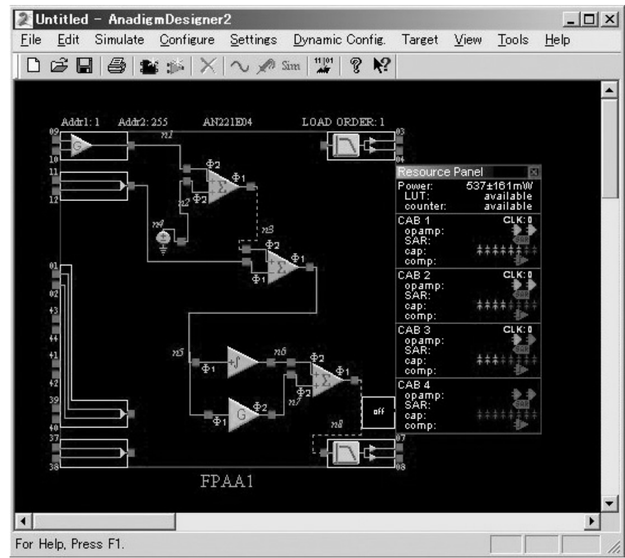


図16　AnadigmDesigner2による流量制御用PIDコントローラの設計画面
流量信号と設定値の信号に差があった場合，その差に対して比例や積分の演算を行う．そして演算結果を電圧信号にして流量を変えるバルブに送る．

表3　アナログ・マイクロコントローラ MicroConverterの概要

型　名	CPUコア	CPU性能(MIPS)	フラッシュ・メモリ(Kバイト)	SRAM(バイト)	GPIO	A-Dコンバータ精度(ビット)	A-Dコンバータ変換速度(サンプル/s)	A-Dコンバータチャネル数	PWM	12ビット D-Aコンバータ出力
ADuC7019	ARM7 TDMI	40	62	8192	14	12	1,000	5	―	3
ADuC7020		40	62	8192	14	12	1,000	5	―	4
ADuC7021		40	62	8192	13	12	1,000	8	―	2
ADuC7022		40	62	8192	13	12	1,000	10	―	―
ADuC7024		40	62	8192	30	12	1,000	10	3フェーズ	2
ADuC7025		40	62	8192	30	12	1,000	12	3フェーズ	―
ADuC7026		40	62	8192	40	12	1,000	12	3フェーズ	4
ADuC7027		40	62	8192	40	12	1,000	16	3フェーズ	―
ADuC812	8052(12クロック)	1.3	8	256	34	12	200	8	―	2
ADuC814		1.3	8	256	17	12	247	6	―	2
ADuC816		1.3	8	256	34	16	0.105	4	―	1
ADuC824		1	8	256	34	24	0.105	4	―	1
ADuC831		1.3	62	2304	34	12	247	8	デュアル	2
ADuC832		1.3	62	2304	34	12	247	8	デュアル	2
ADuC834		1	62	2304	34	24	0.105	4	デュアル	1
ADuC836		1	62	2304	34	16	0.105	4	デュアル	1
ADuC841	8052(1クロック)	20	62	2304	34	12	400	8	デュアル	2
ADuC842		16	62	2304	34	12	400	8	デュアル	2
ADuC843		16	62	2304	34	12	400	8	デュアル	―
ADuC845		12	62	2304	34	24	1.37	10	デュアル	1
ADuC847		12	62	2304	34	24	1.37	10	デュアル	1
ADuC848		12	62	2304	34	16	1.37	10	デュアル	1

アナログ処理をメインにしたCPU

　最近の1チップ・マイコンには，A-Dコンバータやコンパレータ程度のアナログ回路を内蔵した製品があります．しかし，どちらかというと，おまけ的な機能のみで，外付けの保護回路はなし，入力インピーダンスは低い，精度はせいぜい10ビット程度，とそのままでは計測・信号処理などの用途ではなかなか使えません．

　そのような中，アナログ処理に重点を置いたCPUが現れ始めています．以下では，こうしたソフトウェア・プログラマブルの機能を備えるアナログ系デバイスの例を紹介します．

● アナログ・マイクロコントローラ MicroConverter

　米国Analog Devices社から，アナログ処理を主眼に置いたマイクロコントローラ「MicroConverter」が発売されています（**表3**）．

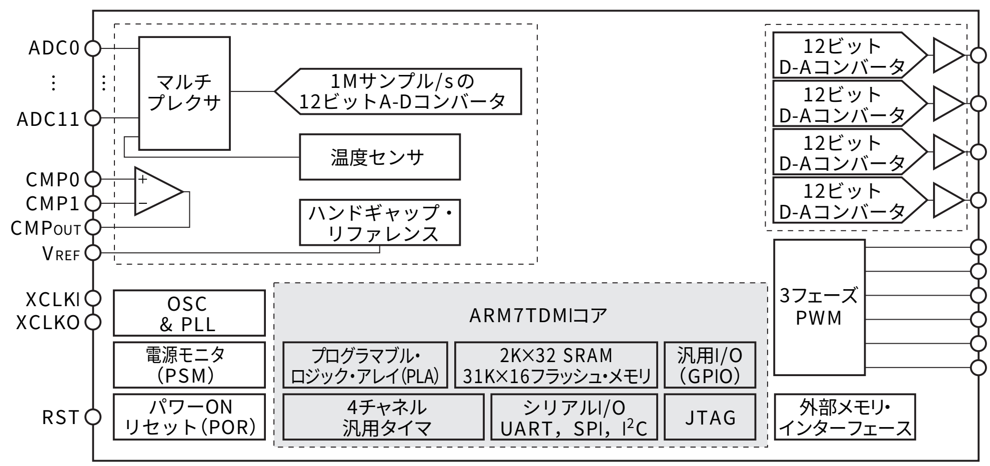


図17
アナログ・マイクロコントローラADuC7026のブロック図
1Mサンプル/sの12ビットA-Dコンバータ，D-Aコンバータ，PWMコントローラなどで構成されている．また，温度センサやコンパレータ，D-Aコンバータのバッファ・アンプなども内蔵する．

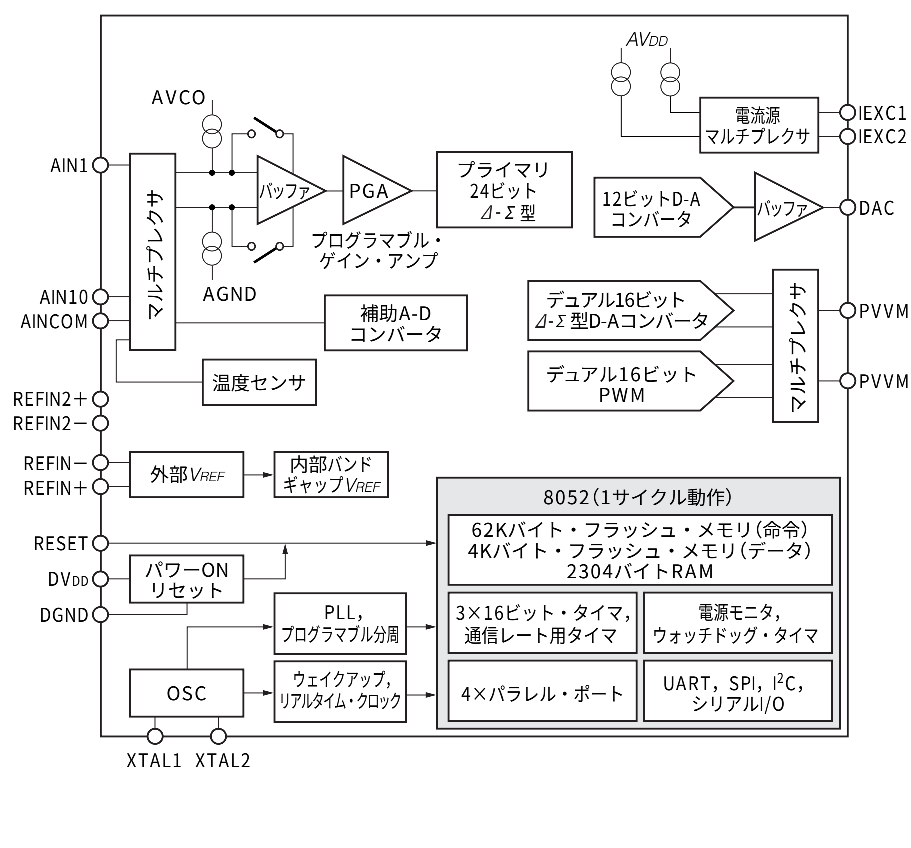


図18
アナログ・マイクロコントローラADuC845のブロック図
24ビットのΔ-Σ型A-Dコンバータを内蔵する．CPUコアは高速版（最小命令実行時間1クロック）の8052（8051命令セット互換）．

1

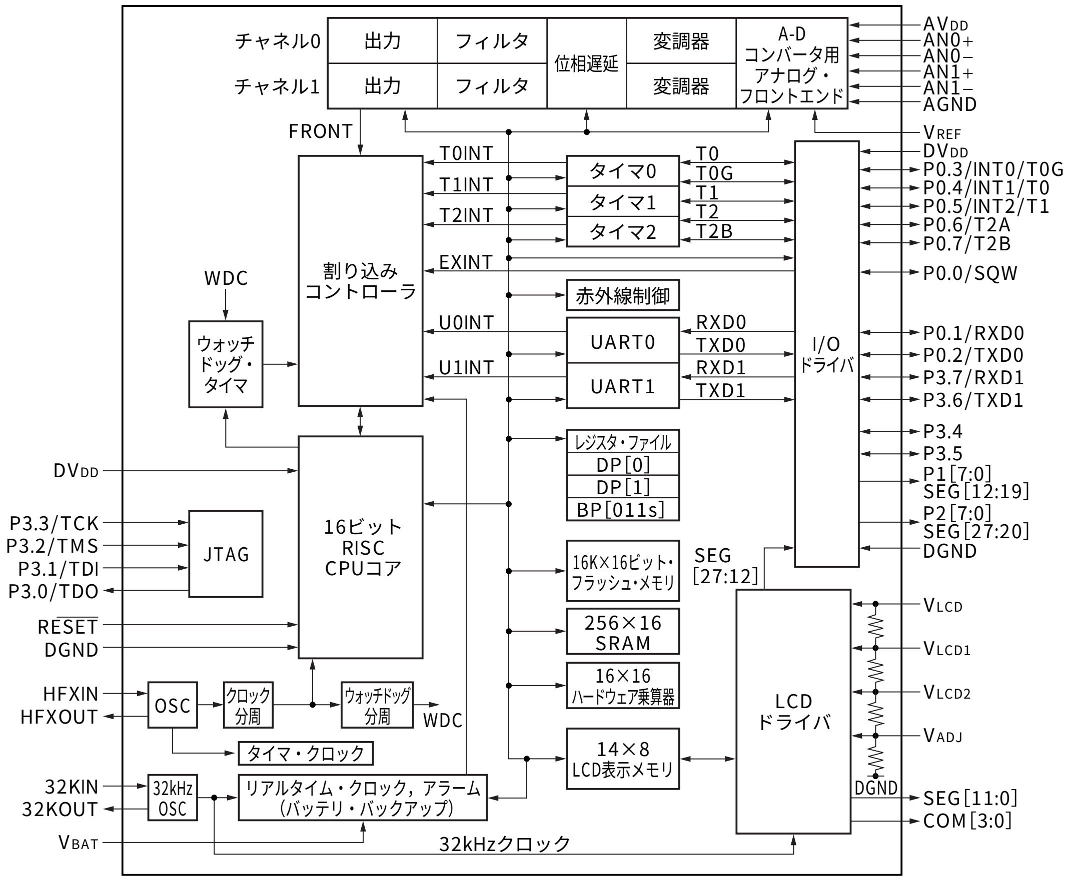


図19
ミックスト・シグナル・コントローラ MAXQ シリーズのブロック図
RISC アーキテクチャの16ビットCPUに，16ビットのΔ-Σ型A-Dコンバータ，プログラマブル・ゲイン・アンプ，フィルタを内蔵する．

MicroConverterには，ARM7TDMIコアの「ADuC7000」と8052コア（8051と命令セット互換）の「ADuC800」の二つのファミリがあります．

ADuC7000シリーズは，1Mサンプル/sの12ビットA-Dコンバータ，D-Aコンバータ，PWMコントローラなどで構成されています．また，温度センサやコンパレータ，D-Aコンバータのバッファ・アンプなども内蔵しています（**図17**）．6mm×6mmの小型パッケージの品種もあります．そのまま工業用の製品として使用できるような仕様にしあがっています．

ADuC800は8052コアのファミリですが，大きく二つに分類できます．ADuC81x/ADuC82x/ADuC83xの最小命令実行時間が12クロックなのに対して，ADuC84xは最小命令実行時間が1クロックの高速版8052コアを搭載しています（**図18**）．マイクロコントローラの性能ではADuC7000シリーズにかないませんが，24ビット分解能のΔ-Σ型A-Dコンバータを搭載する品種や低コスト（単価4ドル台）の品種があるなどの特徴を持ちます．

● ミックスト・シグナル・コントローラ MAXQ シリーズ

米国Maxim Integrated Products社のアナログ処理用CPUに「MAXQシリーズ（MAXQ3120）」があります．

RISCアーキテクチャの16ビットCPUに，16ビットのΔ-Σ型A-Dコンバータ，プログラマブル・ゲイン・アンプ，フィルタなどを内蔵しています．ディジタル系ではLCDのインターフェースなどを内蔵しています（**図19**）．

1チップで，LCD表示機能のある計測装置などを構成するのに適しています．

● ミックスト・シグナル・コントローラ PSoC

米国Cypress Semiconductor社は，ミックスト・シグナル・コントローラ「PSoC」を発売しています．

欧米では量産品などにも採用されており，高い評価を得ているようです．設計コンテストなども開催されており，なかなかおもしろい応用が提案されています．ラインナップもかなり豊富です．

基本的には，8ビットのCPUコアと，アナログ・モジュール，ディジタル・モジュールから構成されています．ア

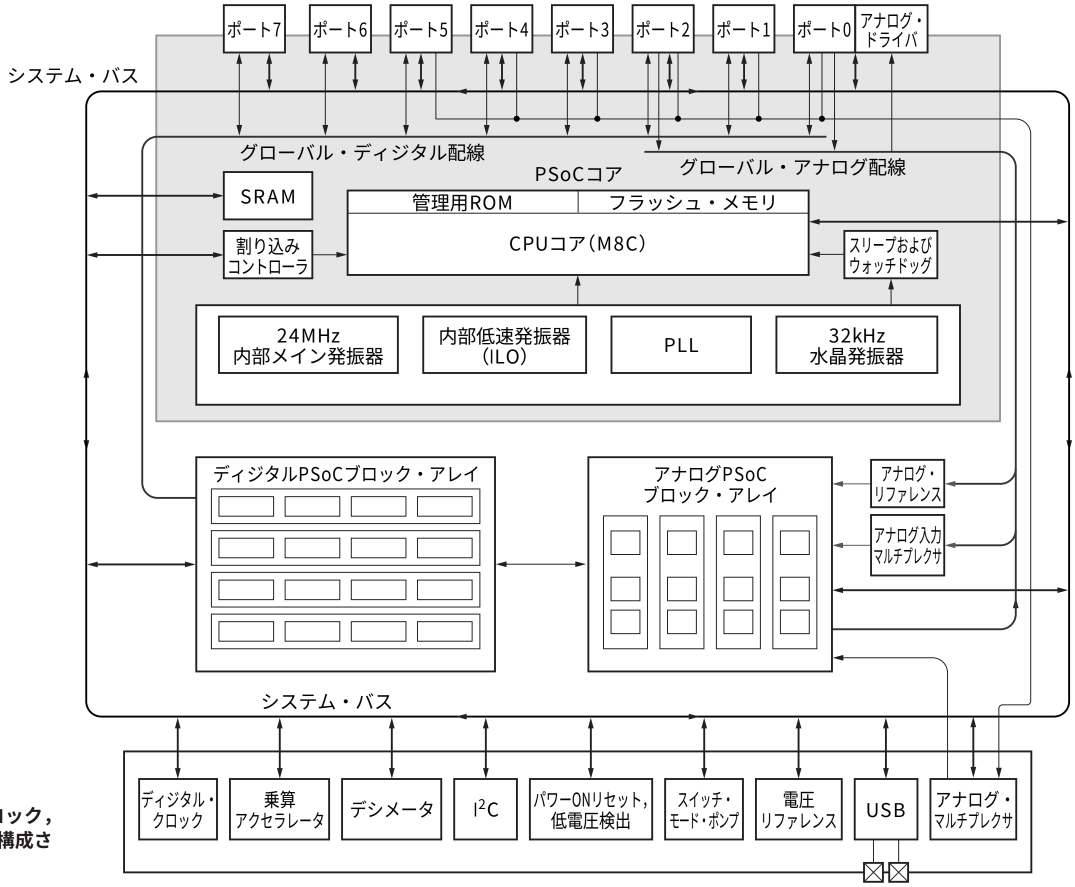


図20
PSoCの内部ブロック図
CPUコアやディジタル・ブロック，アナログ・ブロックなどから構成される．

ナログ/ディジタル・モジュールの規模などの違いによりさまざまな品種があります．

PSoCの内部ブロック図を**図20**に示します．CPUをメインに，ディジタル・ブロック，アナログ・ブロックから構成されています．それぞれのブロックは，CPUコアとシステム・バスを介して接続できるようになっており，ソフトウェアによって制御することができます．また，アナログ間やディジタル間の配線もあり，CPUを介さない回路の構成も可能です．

PSoCでは，1チップ・マイコンの周辺回路を任意に選択するイメージで機能を構成できます．例えば，A-Dコンバータやコンパレータ，UARTなどの機能を接続することができます．オリジナルの1チップ・マイコンを構成できるような感じです．

PSoCは，「PSoC Designer」という開発ツールを使って設計を行います(**図21**)．CPUで実行するソフトウェア(アセンブラ)，およびアナログとディジタルのそれぞれのブロックの機能を設定して，所望の構成を実現します．

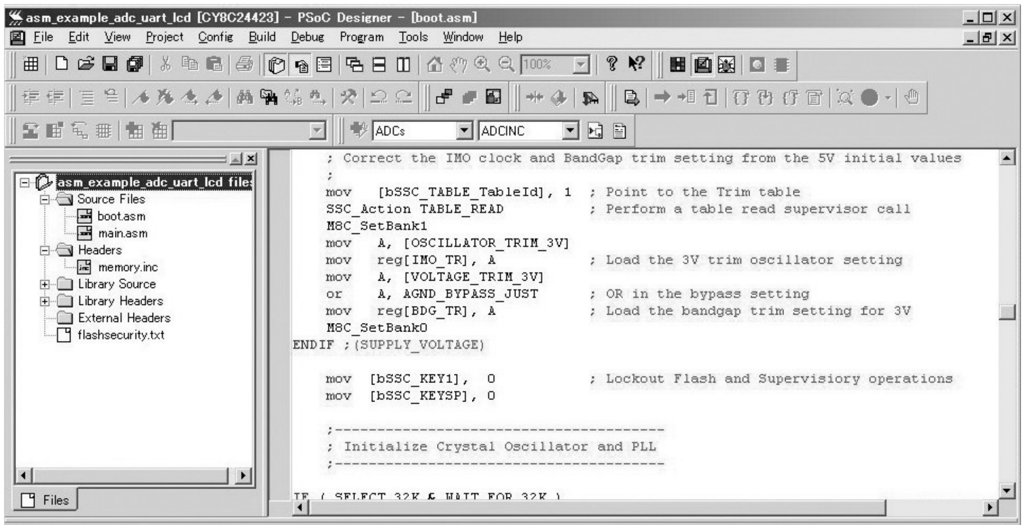
コンフィグレーション・メモリがフラッシュ・メモリのため，外部にROMは必要ありません．

まとめ

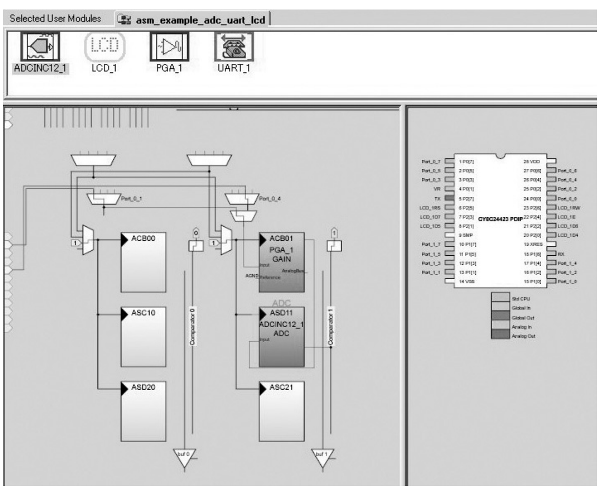
アナログ信号処理を中心としたプログラマブル・デバイスを紹介してきました．まだまだ種類も少なく，汎用的に使えるアーキテクチャというものはなかなか難しいのかもしれません．実際，これらのデバイスも，電源は5Vまでしか使用できなかったり，アナログの核であるOPアンプの性能が単独や専用ICのものと比較して見劣りしたりするものもあります．

しかし，プログラマブルやリコンフィギャラブルという方式そのものは魅力的なものです．FPGAやCPUと組み合わせれば，性能をカバーできる用途も多々あるかと思います．このような方式が一般化すれば，製品のシステム設計がよりフレキシブルなものになるでしょう．

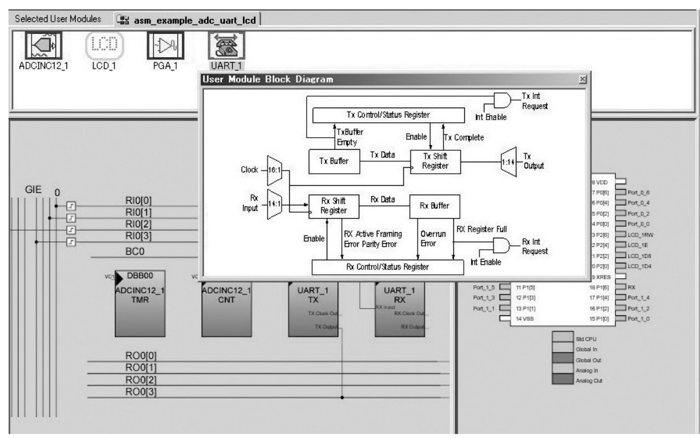
また，ディジタルLSI設計で広く用いられているHDLに続く，アナログ用HDL(SPICE的なものを含む)が普及すれば，FPGAもCPUもアナログもまとめて記述できます．デ



（**a**）ソフトウェア開発画面



（**b**）機能設定画面（アナログ）



（**c**）機能設定画面（ディジタル）

図21　PSoCの開発ツール「PSoC Designer」の画面

ィジタルもアナログもすべて言語で記述し，回路を合成できる日が来るのも遠くないのかもしれません．

参考・引用*文献

(1) Lattice Semiconductor社のホームページ，http://www.latticesemi.com/
(2) Anadigm社のホームページ，http://www.anadigm.com/
(3) Analog Devices社のホームページ，http://www.analog.com/
(4) Maxim Integrated Products社のホームページ，http://www.maxim-ic.com/
(5) Cypress Semiconductor社のホームページ，http://www.cypress.com/

そうだ・やすし
西山工業（株）

<筆者プロフィール>
相田泰志．肉まん器からFPGA，ZigBeeまで，何でも手がける組み込みエンジニアです．組み込み系の技術者が増えないわりに，開発規模は大きくなり，必要な技術は広がるばかり．ソフトウェアだけでなく，ハードウェア，ついでに仕様書まで含めたクラス・ライブラリをだれか用意してもらえないかと思う今日このごろです．(^^;